

VERS LES BIOCARBURANTS DE 2^e GÉNÉRATION : L'EXEMPLE DE L'ISOBUTÈNE BIOSOURCÉ

Pierre Labarbe

Partie des programmes de physique-chimie associée

Programme d'enseignement scientifique de terminale générale : Partie 1.4 : Énergie, choix de développement et futur climatique

Programme de physique-chimie et mathématiques de terminale STI2D : Matières et matériaux – Combustion

Mots-clés : biocarburant, biomasse, isobutène, ETBE, combustion, émission de CO₂

INTRODUCTION

Les biocarburants n'ont pas toujours bonne presse. Issus de la biomasse, leur production peut en effet entrer en concurrence avec la production vivrière. Avec la raréfaction du pétrole, il semble pourtant probable qu'ils entrent de plus en plus dans le mix énergétique destiné au transport. Comment court-circuiter le cycle géochimique propre au pétrole et produire en quelques heures ce que la nature a mis plusieurs millions d'années à créer ? Dans cet article, on s'intéresse à une molécule dont la production issue de la biomasse est en cours de développement : l'isobutène.



Figure 1 – Les biocarburants affameraient la planète et ne seraient pas compétitifs face à l'électrique : info ou intox ?

LES BIOCARBURANTS : QUELLES VOIES DE PRODUCTION ?

Que sont les biocarburants de première, deuxième et troisième génération ?

Un biocarburant est un combustible issu de la biomasse, c'est-à-dire de la matière organique non fossile. À l'heure actuelle, tous les biocarburants commercialisés sont des agrocarburants : ils sont issus de cultures vivrières et sont dits « de première génération ». Comme tous les biocarburants, ils ne sont pas utilisés purs, mais mélangés à du carburant traditionnel. Les biogazoles peuvent être ajoutés au gazole usuel, le bioéthanol est quant à lui mélangé à de l'essence. La filière biogazole repose principalement sur la production d'huiles végétales issues de la culture du colza, du soja et de l'huile de palme. Le bioéthanol est pour sa part produit à partir de sucres issus de la culture de la betterave, de la canne sucre, du blé ou du maïs.

Les biocarburants de 2^e génération sont aussi issus de matière première végétale, mais celle-ci n'est pas destinée à l'alimentation. Il peut s'agir de plantes non comestibles, poussant dans des zones à faible potentiel agricole (comme le *jatropha curcas* ou le *pongamia pinnata* par exemple). Ils peuvent aussi être issus de résidus agricoles (paille et tiges) et forestiers (copeaux de bois). Leur production n'en est pas encore à l'étape industrielle mais des démonstrateurs et des usines sont déjà en cours de développement.

La troisième génération de biocarburants pourrait quant à elle provenir d'algues produisant des huiles, ou de rejets industriels, notamment de gaz produits par les bactéries.

Quel avenir ont les biocarburants ?

On pourrait penser que l'avenir des biocarburants n'est pas prometteur. Les biocarburants n'ont en effet pas une bonne image. De fait, la production de biocarburants de première génération entre en compétition avec les cultures destinées à l'alimentation. Elle peut aussi conduire à la plantation de soja ou de palmiers à huile en lieu et place de la forêt primaire qui joue un rôle clé pour le climat. De plus, l'essor des gaz de schistes a pour un temps repoussé le pic pétrolier et diminué l'intérêt des agrocarburants. Par ailleurs, les biocarburants ne peuvent pas être utilisés purs dans les moteurs traditionnels : les biogazoles doivent être mélangés au gazole conventionnel, l'éthanol à de l'essence. L'éthanol est corrosif et volatil et il ne peut être intégré qu'à hauteur de 10 % d'un carburant en général. Seuls des moteurs spécifiques (dits « flex fuel ») peuvent fonctionner à l'éthanol pur ou très concentré. Enfin, le sujet a une dimension politique marquée. L'Union européenne interdira par exemple la production de carburant à l'huile de palme d'ici 2030.

Pourtant, plusieurs éléments jouent en faveur des agrocarburants. Les promesses des gaz de schistes ne seront peut-être pas tenues : leur rentabilité ne s'avère pas toujours celle attendue. Les tensions sur le marché du pétrole pourraient donc augmenter. Par ailleurs, l'industrie sucrière cherche de nouveaux débouchés, qui pourraient bien se trouver dans la production d'éthanol. Le marché de la production alimentaire pourrait lui aussi évoluer : la production industrielle de viande commence à interroger. Or, cette production nécessite du soja alimentaire, qui pourrait être utilisé pour les biocarburants plutôt que pour nourrir le bétail. Il se peut ainsi que les biocarburants de première génération finissent par devenir plus rentables. Enfin, leur bilan carbone est meilleur que celui des carburants d'origine fossile, notamment parce qu'une partie du carbone émis au cours de leur vie a été prélevé en amont dans l'atmosphère par photosynthèse, et ils sont de plus renouvelables. La nécessaire réduction de la production de dioxyde de carbone pourrait amener à reconsidérer leur intérêt. Cela explique le développement de nouvelles bioraffineries, comme celle de La Mède, pourtant décrié.

L'avenir de ces carburants pourrait aussi se trouver dans les biocarburants de 2^e génération. Ceux-ci n'entrent pas en concurrence avec les cultures vivrières. De plus, leur production entre dans une logique d'utilisation intelligente des déchets agricoles. Enfin, certains d'entre eux pourraient avoir l'avantage d'être mélangés en plus grande proportion dans les carburants usuels. C'est notamment le cas de l'éther éthyle tertiobutyle (ETBE), produit à partir de « bio-isobutène », c'est-à-dire d'isobutène produit à partir de matière première végétale et non fossile. L'entreprise *Global Bioenergie* en est actuellement au stage de l'usine de démonstration industrielle.

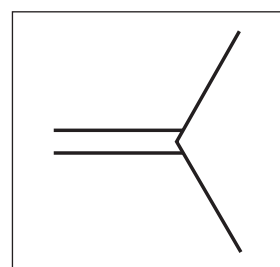


Figure 2 – La formule topologique de l'isobutène.

LA VOIE DU BIO ISOBUTÈNE OU ISOBUTÈNE RENOUVELABLE

L'isobutène, une molécule issue aujourd'hui de la pétrochimie

L'isobutène, ou 2-méthylpropène est un alcène à 4 atomes de carbone, de formule brute C_4H_8 . À température ambiante, il est gazeux. Il s'agit d'une des briques élémentaires de la pétrochimie. Il est aujourd'hui principalement dérivé du pétrole, produit par un procédé qui s'appelle le vapocraquage, qui permet le fractionnement de molécules de plus grande taille.

Par quel procédé produire de l'isobutène renouvelable ?

Tel Panoramix, qui, dans l'Odyssée d'Astérix, a pu se passer de pétrole en le remplaçant par de la betterave, l'idée de l'entreprise *Global Bioenergie* a été de produire directement du carburant, sans attendre les millions d'années que nécessite la dégradation de matière végétale en pétrole. Le processus fait appel à des micro-organismes, capables de fermenter de la matière végétale pour la transformer en isobutène. Ces organismes sont artificiels. Aucune bactérie, ni levure, ni champignon ne produit en effet de l'isobutène dans la nature, notamment à cause de sa nature gazeuse. Le projet a donc débuté par la recherche d'une telle bactérie (voir figure 3), capable de produire de l'isobutène à partir de

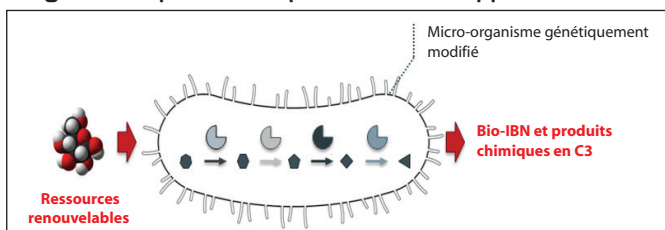


Figure 3 – Modification d'un organisme pour qu'il produise de l'isobutène.

sucre. Cela a notamment consisté à modifier génétiquement des bactéries existantes. Il a ensuite fallu améliorer le rendement pour passer de la conversion d'une molécule de sucre sur dix millions en isobutène à un taux de 90 % de conversion. L'étape suivante a consisté à passer de l'échelle laboratoire, à l'échelle industrielle. C'est chose faite depuis 2017, un démonstrateur industriel est installé en Allemagne.

L'intérêt d'une fermentation « gazeuse »

Le procédé de fermentation d'isobutène développé a l'intérêt de pouvoir fonctionner presque en continu, ce qui n'est pas le cas d'une fermentation classique. En effet, au cours d'une fermentation, le produit formé peut être nuisible aux bactéries ou aux levures responsables de la fermentation. C'est par exemple le cas de la fermentation alcoolique, dont la vitesse décroît avec l'augmentation de la concentration en éthanol. Dans le cas de la fermentation « isobutenique », le produit est gazeux et peut donc être extrait du mélange réactionnel sans diminuer la vitesse de fermentation.



Figure 4 – Une unité de fermentation, source : www.gobal-bioenergies.com

Pour le moment, il s'agit d'un isobutène de première génération, puisque la molécule est faite à partir de maïs, canne à sucre ou de mélasse. Des essais sont cependant en cours pour « passer à la 2G ». De plus en plus d'entreprises développent des procédés pour extraire et purifier les sucres de la matière lignocellulosique contenue dans la paille ou dans les copeaux de bois. *Global Bioenergies* en est à l'étape de pilote (précédant l'étape industrielle). La 3G reste pour le moment à un horizon plus lointain, mais une variante du procédé est en cours de développement qui vise à produire de l'isobutène à partir de déchets gazeux industriels (voir figure 5).

	Aujourd'hui	Court terme	Plus long terme
Disponibilité	<p>1G Cultures vivrières</p> <p>Matières premières traditionnelles Sucre : betterave, canne Glucose : maïs, blé</p>	<p>2G Copeaux de bois, paille, bagasse</p> <p>Matières premières avancées Forestière : copeaux de bois Agricoles : paille de blé, tiges de maïs...</p>	<p>3G Gaz résiduaux industriels</p> <p>Matières premières émergentes Gaz de synthèse de l'aciérie CO₂ concentré</p>
Potentiel	Coût de la ressource		Impact environnemental
Perspectives	Principaux acteurs agricoles		Présent : aciéries (gaz de synthèse) Futur : toutes industries émettrices de CO ₂
		Opérateurs forestiers	

Figure 5 – Des ressources variées peuvent être transformées en isobutène.

DU BIOISOBUTÈNE AUX BIOCARBURANTS... ET AUX BIOMATÉRIAUX

La voie de l'ETBE

L'ETBE ou éther éthyle tertio-butyle peut être produit de manière renouvelable à partir d'éthanol et d'isobutène selon la réaction en milieu acide :

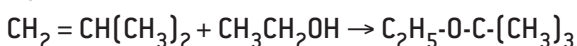
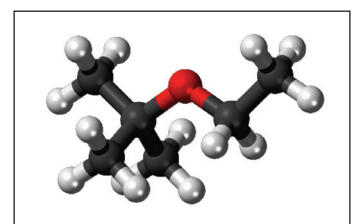


Figure 6 – Formule topologique de l'ETBE. © Stone, Wikimedia commons.



L'ETBE est un hydrocarbure à 6 atomes de carbone (voir figure 6), est un additif utilisé dans l'essence. Il augmente notamment l'indice d'octane du carburant, c'est-à-dire sa résistance à l'auto-allumage. Il a l'avantage de pouvoir y être incorporé en plus grande proportion que l'éthanol : 22 % contre 10 %. Il rend notamment le mélange avec l'essence moins volatil. Il ne constitue donc pas un carburant à part entière, en tout cas pas avec les moteurs utilisés actuellement. Il entre plutôt dans la catégorie des carburants « drop-in », c'est à dire pouvant se substituer *en partie* au carburant traditionnel.

La voie des isoalcanes

Un procédé de polymérisation permet d'enchaîner 2, 3, 4 ou davantage de molécules d'isobutène, pour former un mélange d'isoalcanes : l'isooctane, l'isododécane, l'isocétane (voir figure 7), etc. Chacune de ces molécules a un intérêt industriel. L'isooctane constitue le carburant étalon pour les moteurs à essence : pur, il correspondrait à une essence d'indice d'octane 100, très résistant à l'autoallumage. L'isododécane pourrait quant à lui constituer un carburant « drop-in » pour l'aviation et pourrait revêtir le titre de biokérosène. L'isocétane, molécule plus « lourde » pourrait quant à elle entrer dans la composition du gazole.

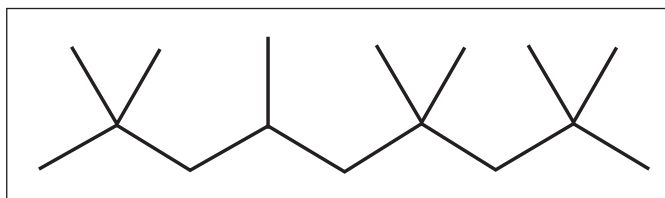


Figure 7 – L'isocétane (ou 2,2,4,4,6,8,8-heptaméthylnonane) est un quadrimère d'isobutène pouvant constituer un carburant partiellement substituable au gazole.

Un potentiel commercial énorme

Il est presque dommage de le brûler car d'autres débouchés existent pour l'isobutène. Après les carburants, le principal marché est celui du gaz, mais l'isobutène peut être utilisé comme matière première en chimie des produits biosourcés. L'isobutène est également recherché dans le domaine des matériaux. C'est un composant d'intérêt pour les pneumatiques, les plastiques, les verres.

L'ensemble de ces débouchés représente à l'heure actuelle un marché de 20 milliards de dollars environ mais avec le développement des biocarburants, il irait bien au-delà. Pour l'instant, le prix de l'ETBE obtenu par biosynthèse à partir de bio-isobutène est 2 à 3 fois plus élevé que celui de l'ETBE « conventionnel ». Cependant l'épuisement probable des huiles de schistes et l'augmentation du prix du baril de pétrole au-delà de 100 \$ pourrait rentabiliser cette voie plus « verte ».

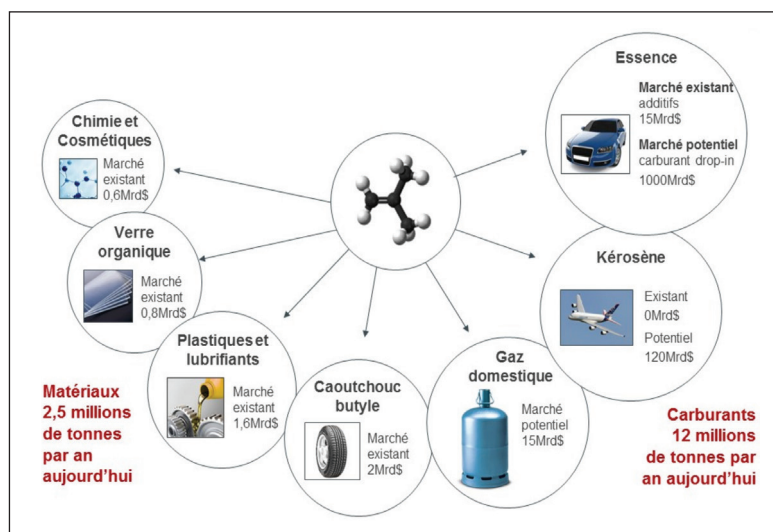


Figure 8 – Isobutène : un marché diversifié de 20 Mrd\$.

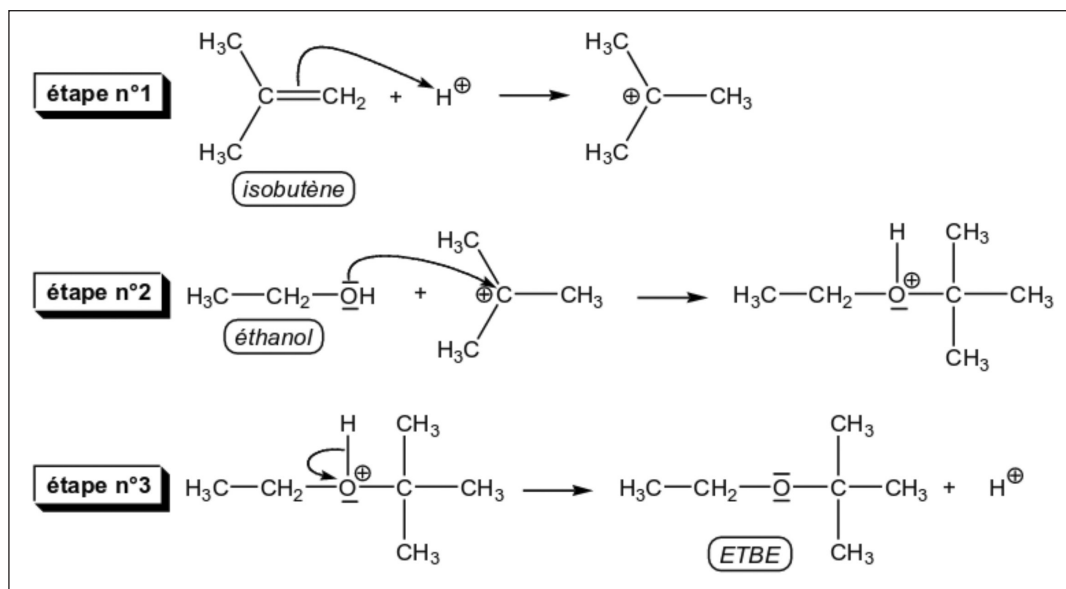
SOURCE PRINCIPALE

Chimie et Biologie de synthèse – Les applications, EDP Sciences, 2019, ISBN : 978-2-7598-2315-4, « Des carbohydrates aux hydrocarbures » par Marc Delcourt.

POUR EN SAVOIR PLUS

- Site Mediachimie :
 - Polémique dans le monde des biocarburants : <https://www.mediachimie.org/actualite/pol%C3%A9miques-dans-le-monde-des-biocarburants>
 - Les biocarburants une remise en question : <https://www.mediachimie.org/search/site/%EF%80%AD%09Les%20biocarburants%20une%20remise%20en%20question>

- La biomasse une source d'énergie pour l'avenir : <https://www.mediachimie.org/ressource/la-biomasse-mati%C3%A8re-premi%C3%A8re-renouvelable-d%E2%80%99avenir>
- La biomasse un réservoir d'énergie pour demain : <https://www.mediachimie.org/ressource/la-biomasse-un-r%C3%A9servoir-d%E2%80%99%C3%A9nergie-pour-demain>
- La biomasse matière première pour l'avenir : <https://www.mediachimie.org/ressource/biomasse-la-mati%C3%A8re-premi%C3%A8re-renouvelable-de-l%E2%80%99avenir>
- Un exemple d'énergie renouvelable l'essence verte : <https://www.mediachimie.org/ressource/un-exemple-d%E2%80%99%C3%A9nergie-renouvelable-l%E2%80%99essence-verte>
- Ça roule avec les algues : <https://www.mediachimie.org/ressource/%C3%A7a-roule-avec-les-algues>
- Microalgues l'eldorado : <https://www.mediachimie.org/ressource/microalgues-l%E2%80%99eldorado>
- Les biocarburants de 2^e génération : <https://www.mediachimie.org/ressource/biocarburants-de-deuxi%C3%A8me-g%C3%A9n%C3%A9ration>
- **Sujet zéro n° 1 de l'épreuve commune de contrôle continu de physique-chimie de spécialité passée en première :** https://cache.media.eduscol.education.fr/file/Annales_zero_BAC_2021_1e/62/7/SOBAC21-1e-SPE-PhyChi-Agrocarburants_1123627.pdf
- **Spectral database, utilisable pour obtenir les spectres de l'ETBE** https://sdb.sdb.aist.go.jp/sdbs/cgi-bin/direct_frame_top.cgi
- **Baccalauréat 2018 – série STL – spécialité SPCL : Sujet de la sous-épreuve écrite de sciences physiques et chimiques en laboratoire : Étude du procédé industriel de synthèse de l'ETBE :** http://cache.media.education.gouv.fr/file/Bac/46/3/STL_CBSC_SPCL_971463.pdf



Mécanisme réactionnel de la synthèse de l'ETBE [Source : baccalauréat 2018 – série STL].

Pierre Labarbe est professeur agrégé de physique-chimie

Comité éditorial : Danièle Olivier, Jean-Claude Bernier et Grégory Syoen